

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ  
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА  
ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЇ  
КАФЕДРА БІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

**Хвесик Василь Михайлович**

*УДК 612.15:519.218*

**ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ КРОВООБІГУ ЛЮДИНИ НА ОСНОВІ  
АНАЛІЗУ ДОБОВОГО СЕРЦЕВОГО РИТМУ**

163 – Біомедична інженерія

**Автореферат**

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль – 2018

Роботу виконано на кафедрі біотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

**Керівник роботи:** кандидат технічних наук,  
доцент кафедри біотехнічних систем  
**Дедів Леонід Євгенович,**  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя,

**Рецензент:** кандидат технічних наук,  
доцент кафедри радіотехнічних систем  
**Умзар Юрій Августович,**  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 28 грудня 2018 р. о 10<sup>00</sup> годині на засіданні екзаменаційної комісії №22 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Текстильна, 28, навчальний корпус №9, ауд. 9-507.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Згідно зі статистичними даними Всесвітньої організації охорони здоров'я людини за 2010 р., від серцево-судинних захворювань (ССЗ) померло 17,5 млн. людей. Це пов'язано із впливом на стан серцево-судинної системи людини внутрішніх (стрес, розумове перенапруження тощо) та зовнішніх (несприятлива екологія, суцільна комп'ютеризація, фізичне навантаження) факторів. Тому, важливим завданням сучасної кардіології в Україні та у світі є своєчасне виявлення і запобігання серцево-судинних патологій.

Поширеними сьогодні стають системи довготривалого моніторингу електрокардіосигналів, оскільки основна інформація про стан серцево-судинної системи та систем, що регулюють ритм серця зокрема, розміщена в структурі кардіоінтервалів. Це так звані системи голтерівського моніторингу. В цих системах тривалість запису ЕКС повинна бути не меншою доби, тому що при меншій тривалості знижується чутливість методу й неможливо оцінити циркадний ритм серцевої діяльності. Останнім часом все більше поширення набуває багатодобовий моніторинг (найчастіше до трьох діб).

Однак, в таких системах відсутні засоби врахування в структурі електрокардіосигналів добових змін ритму, що є нормою для кожного окремо взятого пацієнта. При цьому знижується достовірність результатів довготривалого опрацювання ЕКС в цих системах.

Оскільки алгоритми функціонування систем голтерівського моніторингу визначаються методами опрацювання та, відповідно, способами математичного опису електрокардіосигналів, актуальною науковою задачею є удосконалення математичної моделі для розроблення на її основі методу аналізу електрокардіосигналу, націленого на підвищення інформативності автоматизованих систем голтерівського моніторингу із врахуванням особливостей добового серцевого ритму.

**Метою роботи є:** обґрунтування математичної моделі та методу оцінювання стану кровообігу людини на основі аналізу добового серцевого ритму. Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі завдання:

- провести аналіз літературних джерел за тематикою дослідження;
- проаналізувати особливості функціонування систем голтерівського моніторингу та математичні моделі і методи опрацювання електрокардіосигналів, що застосовуються в цих системах;
- сформулювати вимоги до математичної моделі та методу опрацювання електрокардіосигналу із урахуванням добового серцевого ритму;
- провести опрацювання електрокардіосигналів запропонованим методом та провести інтерпретацію отриманих результатів.

**Об'єкт дослідження:** процес опрацювання добових електрокардіосигналів в системах голтерівського моніторингу.

**Предмет дослідження:** математична модель та метод опрацювання добових електрокардіосигналів.

**Наукова новизна результатів:** полягає в обґрунтуванні математичної моделі добового електрокардіосигналу у вигляді біперіодично корельованого випадкового процесу та методу стаціонарних компонент для його опрацювання, з метою розширення можливостей систем голтерівського моніторингу.

**Практичне значення отриманих результатів.** Результати можуть бути використані при проектуванні систем голтерівського моніторингу.

**Апробація результатів дослідження.** За матеріалами кваліфікаційної роботи магістра опубліковано тези доповідей на VII міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» ТНТУ ім. І. Пулюя, 2018 рік.

**Структура та обсяг.** Дипломна робота складається із вступу, восьми розділів, висновку, викладених на 103 сторінках, списку використаних джерел з 20 назв на 3 сторінках, додатків на 3 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 110 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, показано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, розкрито питання апробації результатів роботи на конференціях і семінарах.

**У першому розділі** «Задача оцінювання добового серцевого ритму» встановлено, що метод електрокардіографії відноситься до неінвазивних методів дослідження стану серцево-судинної системи та кровообігу зокрема. Аналіз послідовності виникнення потенціалів, реєстрованих від волокон різних відділів серця, може дати найбільш точні результати про шлях та швидкість розповсюдженості хвилі збудження та оцінити характер її порушення. ЕКГ дозволяє отримати розрахунок частоти серцевих скорочень.

Феномен варіабельності серцевого ритму полягає в коливаннях інтервалу між послідовними ударами серця, а також коливаннях між послідовними частотами серцевих скорочень. Термін "Варіабельність серцевого ритму" став загальноприйнятим терміном при описі змін як частоти серцебиття, так і інтервалів R-R електрокардіосигналу.

Основна інформація про стан систем, що регулюють ритм серця, поміщена в 'функціях розкиду' тривалості кардіоінтервалів. При цьому необхідно враховувати і поточний рівень функціонування системи кровообігу.

Поширеними сьогодні стають системи довготривалого моніторингу електрокардіосигналів. Це так звані системи голтерівського моніторингу. В цих системах тривалість запису ЕКС повинна бути не меншою доби, тому що при меншій тривалості знижується чутливість методу й неможливо оцінити циркадний ритм серцевої діяльності. Останнім часом все більше поширення набуває багатодобовий моніторинг (найчастіше до трьох діб).

Однак, в таких системах відсутні засоби врахування в структурі ЕКС добових змін ритму, що є нормою для кожного окремо взятого пацієнта. При цьому знижується достовірність результатів довготривалого опрацювання ЕКС в цих системах.

Відповідно, важливим є забезпечення можливості врахування в цих системах особливостей добового серцевого ритму.

**У другому розділі** «Аналіз способів математичного опису електрокардіосигналів в системах голтерівського моніторингу» проведено порівняльний аналіз та класифікацію відомих математичних моделей електрокардіосигналів, які використовуються при розробленні методів опрацювання цих сигналів для задач автоматизованої діагностики функціонального стану серцево-судинної системи у системах голтерівського моніторингу.

В результаті аналізу обґрунтовано необхідність досліджень математичної моделі сигналу, яка би враховувала інформативні ознаки і узгоджувалася із фізичною природою досліджуваного електрокардіосигналу зареєстрованого впродовж доби.

Враховуючи складність та структуру ЕКС в системах голтерівського моніторингу проаналізовано його характеристики у рамках детермінованого підходу та з позицій стохастичного підходу. Отримані результати аналізу методами гармонічного аналізу у рамках детермінованого підходу підтверджують, що обчисленні амплітудні спектри різних циклів ЕКС однієї реалізації є мінливими, тобто містять певну випадковість. Розглядаючи сигнал у рамках стаціонарної моделі, помічено, що дисперсія трансформуються в часі, а кореляційна функція від суцільної реалізації ЕКС є періодичною. Хоча випадкова стаціонарна модель відображає складність ЕКС в спектральному розподілі потужності, проте не відображає його фазово-часової структури, яка є важливим показником при виявленні часових змін у сигналі.

Проаналізовано можливості, що їх дає застосування енергетичної теорії стохастичних сигналів. При цьому обґрунтовано математичну модель добового ЕКС у вигляді біПКВП.

Враховуючи властивість пониження періоду корельованості такий процес може бути зведений до ПКВП із можливістю застосування методів опрацювання таких процесів.

**У третьому розділі** «Метод опрацювання електрокардіосигналів» розглянуто синфазний метод опрацювання ЕКС в рамках ЕТСС. Розроблено процедуру опрацювання реалізацій ЕКС методом стаціонарних компонент. Суть цього методу передбачає формування стаціонарних компонент і оцінювання їхніх статистичних оцінок, зокрема моментів першого порядку. Таке оцінювання дасть можливість проводити оцінювання ЕКС на окремих ділянках умовного періоду (кардіокомплексу), виявлення амплітудних та фазових змін тощо.

Запропоновано оцінювання значення періоду корельованості ЕКС проводити за оцінками розподілу спектральної густини потужності.

**У четвертому розділі** «результати опрацювання екс при поданні його у вигляді біПКВП» на основі розробленого програмного забезпечення було проведено опрацювання вибірок з ЕКС пацієнта, що знаходиться в стані медичної норми.

Помічено, що “в профіль” оцінки стаціонарних компонент ніби повторюють за формою вигляд одного кардіокомплексу ЕКС, і це логічно, беручи до уваги спосіб формування стаціонарних компонент. Однак з цього рисунка видно і невелику мінливість амплітудних значень компонент та мінливість часової структури ЕКС. Ці

факти додатково підтверджують нестаціонарність ЕКС. Однак на коротких проміжках часу (близько 10 періодів) ЕКС в стані норми може вважатись стаціонарним процесом.

Коливання значень компонент, які відповідають R-зубцям аналогічне поняттю варіабельності серцевого ритму. При цьому можна проводити оцінювання варіабельності не лише R-зубців, але і решти елементів кардіокомплексу, що розширює діагностичні можливості методу стаціонарних компонент.

Крім того, на оцінках стаціонарних компонент будуть чітко проявлятися добові зміни серцевого ритму у вигляді фазових зсувів положень структурних елементів кардіокомплексу.

Відповідно, математична модель ЕКС у вигляді біПКВП та метод стаціонарних компонент дають можливість врахування динаміки серцевого ритму в структурі добового ЕКС та засоби її оцінювання.

**У п'ятому розділі** «Спеціальна частина» описано методику проведення медико-біологічних досліджень та проведено обґрунтування вибору УДК на пряму наукового дослідження.

**У шостому розділі** «Обґрунтування економічної ефективності» на підставі виконаних розрахунків та нормативних даних встановлено, що планова калькуляція вартості проведення досліджень по темі становить 33489,24 грн., а кількісна оцінка науково-технічна ефективність науково-дослідної роботи, яка здійснюється експертним шляхом за десятибальною шкалою і визначається як середньоарифметичне, що складає 0,685 від максимального числа 1, а рекомендації по результатам виконання НДР можуть бути сформульовані після ретельного аналізу отриманих результатів.

**У сьомому розділі** «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розглянуто питання охорони праці під час роботи з персональним комп'ютером. Забезпечення стійкості роботи об'єктів зв'язку, радіомовлення і телебачення до дії вражаючих факторів надзвичайних ситуацій. Організація та проведення оповіщення робітників і службовців підприємства та населення з використанням систем автоматизованого і централізованого оповіщення цивільного захисту на об'єкті що проектується.

**У восьмому розділі** «Екологія» розглянуто питання актуальності охорони навколишнього середовища, електромагнітне забруднення довкілля, його вплив на людину, захист від впливу електромагнітних полів.

## ВИСНОВКИ

В дипломній роботі вирішене важливе завдання розроблення методу оцінювання стану кровообігу людини на основі аналізу добового серцевого ритму. При цьому отримано наступні результати:

1. Основним джерелом відомостей про роботу серцево-судинної системи та стан кровообігу є електрокардіосигнал.

2. В системах голтерівського моніторингу відсутні засоби врахування в структурі ЕКС добових змін ритму, що є нормою для кожного окремо взятого

пацієнта. При цьому знижується достовірність результатів довготривалого опрацювання ЕКС в цих системах.

3. Проведено порівняльний аналіз та класифікацію відомих математичних моделей електрокардіосигналів, які використовуються при розробленні методів опрацювання цих сигналів для задач автоматизованої діагностики функціонального стану серцево-судинної системи у системах голтерівського моніторингу. Враховуючи складність та структуру ЕКС в системах голтерівського моніторингу проаналізовано його характеристики у рамках детермінованого підходу та з позицій стохастичного підходу. Отримані результати аналізу методами гармонічного аналізу у рамках детермінованого підходу підтверджують, що обчисленні амплітудні спектри різних циклів ЕКС однієї реалізації є мінливими, тобто містять певну випадковість. Розглядаючи сигнал у рамках стаціонарної моделі, помічено, що дисперсія трансформуються в часі, а кореляційна функція від суцільної реалізації ЕКС є періодичною. Хоча випадкова стаціонарна модель відображає складність ЕКС в спектральному розподілі потужності, проте не відображає його фазово-часової структури, яка є важливим показником при виявленні часових змін у сигналі.

4. Обґрунтовано математичну модель добового ЕКС у вигляді біперіодично корельованого випадкового процесу. Враховуючи властивість пониження періоду корельованості такий процес зведено до періодично корельованого випадкового процесу із можливістю застосування методів опрацювання таких процесів.

5. Розроблено процедуру опрацювання реалізацій ЕКС методом стаціонарних компонент. Суть цього методу передбачає формування стаціонарних компонент і оцінювання їхніх статистичних оцінок, зокрема моментів першого порядку. Таке оцінювання дасть можливість проводити оцінювання ЕКС на окремих ділянках умовного періоду (кардіокомплексу), виявлення амплітудних та фазових змін тощо.

6. На основі розробленого програмного забезпечення було проведено опрацювання вибірок з ЕКС пацієнта, що знаходиться в стані медичної норми. Помічено, що “в профіль” оцінки стаціонарних компонент ніби повторюють за формою вигляд одного кардіокомплексу ЕКС, і це логічно, беручи до уваги спосіб формування стаціонарних компонент. Однак з цього рисунка видно і невелику мінливість амплітудних значень компонент та мінливість часової структури ЕКС. Ці факти додатково підтверджують нестаціонарність ЕКС. Однак на коротких проміжках часу (близько 10 періодів) ЕКС в стані норми може вважатись стаціонарним процесом.

7. Коливання значень компонент, які відповідають R-зубцям аналогічне поняттю варіабельності серцевого ритму. При цьому можна проводити оцінювання варіабельності не лише R-зубців, але і решти елементів кардіокомплексу, що розширює діагностичні можливості методу стаціонарних компонент. Крім того, на оцінках стаціонарних компонент будуть чітко проявлятися добові зміни серцевого ритму у вигляді фазових зсувів положень структурних елементів кардіокомплексу.

## **ПЕРЕЛІК ПРАЦЬ**

1. Хвесик В.М. Оцінювання стану серцево-судинної системи людини на основі аналізу добового серцевого ритму / В.М. Хвесик, Н.І. Самолук, М.А. Горбань,

Л.Є. Дедів // Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 28-29 листопада 2018 року. – Т2.: ТНТУ, 2018. – С. 187.

## АНОТАЦІЯ

Хвесик В.М. Оцінювання стану кровообігу людини на основі аналізу добового серцевого ритму. – Рукопис. Кваліфікаційна робота магістра, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2018.

Кваліфікаційну роботу магістра присвячено обґрунтуванню методу оцінювання стану кровообігу людини на основі аналізу добового серцевого ритму шляхом опрацювання електрокардіосигналів. Обґрунтовано математичну модель електрокардіосигналу у вигляді біперіодично корельованого випадкового процесу. Застосовано до опрацювання електрокардіосигналів методу стаціонарних компонент.

Ключові слова: добовий ритм, електрокардіосигнал, періодично корельований випадковий процес.

## ANNOTATION

Khvesik V.M. A human blood circulation state evaluation based on the day and night cardiac rhythm analysis. - Manuscript. Qualifying Work, Ivan Puluj Ternopil National Technical University, Ternopil, 2018.

Qualification work is devoted to the substantiation of the method of evaluation of a person's blood circulation on the basis of analysis of the daily heart rate as a way of working out electrocardiosignals. The mathematical model of electrocardiosignal in the form of a biperiodically correlated random process is substantiated. Applied to the process of electrocardiograms of the method of stationary components.

Key words: daily rhythm, electrocardiosignal, periodically correlated random process.